

明 細 書

自動操舵制御装置および自動操舵装置

技術分野

5 本発明は、参考針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する船舶の自動操舵装置に関し、特に所望の旋回中心位置の周りを、所望の旋回半径で旋回することを可能にする自動操舵装置に関する。

背景技術

10 従来の自動操舵装置は、目標針路をマニュアルで設定して、現在の自船針路との方位偏差が”0”になるように船を自動操舵する。このとき、当初の方位偏差が大きいときは、指令舵角は大きな値が出力されるためリミッタが設けてあり、ある規定値以上の値については、実際の船の操舵に規定以上の負荷がかからないようにしてある。

15 リミッタの出力がアクチュエータに伝わり実舵角が出力され外乱要素と加え合わされた後、船体の舵に伝えられる。船の運動は、方位センサにより方位角として測定される。

従来の自動操舵装置では、大きな方位偏差の目標針路を設定するとリミッタの限界値にしたがって旋回を行うため、変針後は、定常偏差およびオーバーシュートが20 発生し滑らかな自動変針を実現することができない。

このことは、浮遊する障害物その他の回避すべき海域が存在するとき、当初に予測した旋回軌道と異なる軌道を実際には通過する可能性があり、安全変針を実現できないという点で大きな問題がある。そのために、このような海域での変針には、自動操舵装置に頼らずに操舵手の負担による変針を行う必要が生じ、操舵手への負担が大きくなる。

25 上記課題を解決した従来の自動操舵装置に関して説明する。

従来の自動操舵装置によれば、目標針路とともに回転半径および旋回中心を平面

座標軸上にあらかじめ蓄積情報として設定する。その旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節する。

これにより、滑らかで安定な自動変針を実現することができるとともに、変針コースを正確に予測することができる。さらに、自動変針時の無駄な動きを低減させ

5 消費燃料の節約をはかることができる（特許文献1参照）。

【特許文献1】 特開平08-119197号公報

ところが、従来の自動操舵装置では、自船位置を知る手段が無いため、旋回運動を行う際には、舵角を一定にするしか方法がなかった。この方法だと、潮流や風等の外因により、外因の方向に船舶が流されてしまい、旋回しながら、その旋回中心10も動いてしまう（図1参照）。つまり、従来の自動操舵装置で旋回動作を行おうとしても、単に一定方向に旋回を続けるのみで、定点を中心として旋回することができなかつた。

この発明の目的は、所望の旋回中心位置を中心として、潮流等の外因の影響を受けて、旋回する手段を備えた自動操舵制御装置および自動操舵装置を提供すること15にある。

発明の開示

この発明による自動操舵制御装置は、自船位置を測位する手段を備えた船舶に20装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、所望の旋回中心位置を入力する入力手段と、前記入力手段で入力した旋回中心位置を記憶する記憶手段と、自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離を旋回半径とし、その旋回中心に対して自船軌跡が前記旋回半径による円弧を描くように命令舵角を出力する舵角出力手段とを備えたことを特徴とする。

25 またこの発明による自動操舵制御装置は、自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、所望の旋回半径および旋回中心位置を入力する入力手段と、

前記入力手段で入力された旋回半径および旋回中心位置を記憶する記憶手段と、自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離が前記記憶手段に記憶した旋回半径に近付けるように命令舵角を出力する舵角出力手段とを備え、前記舵角出力手段は、前記自船位置から前記旋回中心までの距離が前記旋回半径に略等しくなったときから、その旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節するよう命令舵角を出力することを特徴とする。

また、この発明による自動操舵装置は、自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、所望の旋回中心位置を入力する入力手段と、前記入力手段で入力した旋回中心位置を記憶する記憶手段と、自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離を旋回半径とし、その旋回中心に対して自船軌跡が前記旋回半径による円弧を描くように舵角を調節する舵角調節手段とを備えたことを特徴とする。

またこの発明による自動操舵装置は、自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、所望の旋回半径および旋回中心位置を入力する入力手段と、前記入力手段で入力された旋回半径および旋回中心位置を記憶する記憶手段と、自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離が前記記憶手段に記憶した旋回半径に近付けるように舵角を調節する舵角調節手段とを備え、前記舵角調節手段は、前記自船位置から前記旋回中心までの距離が前記旋回半径に略等しくなったときから、その旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節することを特徴とする。

またこの発明による自動操舵装置の前記入力手段は、所望の旋回方向を入力することができるであり、前記記憶手段は、前記入力手段で入力された旋回方向を記憶し、前記舵角調節手段は、前記記憶手段に記憶された旋回方向に旋回するように舵角を調節することを特徴とする。

またこの発明による自動操舵装置は、自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、所望の旋回方向、旋回半径および旋回中心位置を入力する入力手段と、前記入力手段で入力された旋回方向、旋回半径および旋回中心位置を記憶する記憶手段と、自船位置を測位する手段で測位された自船位置と前記旋回中心位置を記憶する手段に記憶した旋回中心とを結ぶ直線を求め、前記直線と、前記記憶手段に記憶した旋回半径で前記記憶手段に記憶した旋回中心を中心として描いた旋回円との交点を求め、前記交点における前記旋回円への接線を求め、自船位置と前記交点間の距離差を演算し、自船の針路方向が、前記接線の、前記記憶手段で記憶した旋回方向に近づくよう、前記距離差に応じて舵角を調節する舵角調節手段とを備えたことを特徴とする。

以上の構成により、所望の旋回中心位置を中心として、潮流等の外因の影響を受けず、旋回する手段を備えた自動操舵制御装置および自動操舵装置を提供することが可能になる。

従来の自動操舵装置は目的方位に向かって直線的に進むだけだったが、本発明によれば、指定した旋回中心位置の回りを、指定した旋回半径を保ちながら、潮流等の外因の影響を受けることなく、正確に旋回できるようになる。

図面の簡単な説明

20 図1は、従来の自動操舵装置による旋回の課題を示す図である。

図2は、本発明の自動操舵装置のブロック図である。

図3は、本発明の自動操舵装置を搭載した船舶が、旋回運動を開始するときの座標系を示した図である。

図4は、図3で示されている自船を拡大して表示した図である。

25 図5は、本発明の自動操舵装置を搭載した船舶が旋回運動を開始したときの様子を示す図である。

図6は、本発明の自動操舵装置の動作手順を示したフローチャートである。

図 7 は、 k_p 算出の動作手順を示したフローチャートである。

図 8 は、 振幅算出用係数 k_p と k_p 調節幅 Δk_p の時間変化を示す図である。

図 9 は、 半径誤差と実舵角の時間変化を示す図である。

図 10 は、 旋回運動を指示してから旋回状態に至るまでのプロット図である。

5

発明を実施するための最良の形態

本発明の自動操舵装置の構成を図 2 に示す。

ユーザは、 操作部 23 を介して旋回中心、 旋回半径および旋回方向を入力する。

この操作部 23 は、 例えばパーソナルコンピュータ（以下パソコン）等で構成され、

10 内部に記憶部を有する。その記憶部において、 ユーザにより入力された旋回中心、
旋回半径および旋回方向を記憶できる。

26 は舵機であり、 制御部 25 から来る指令に基づき舵角を調節する舵角調節手段を備えている。舵角調節手段である舵機 26 へ出される指令は、 前述の旋回中心、
旋回半径および旋回方向と、 方位センサ 24 から得る船首方位に基づいて、 上記制
御部 25 で演算される。

本発明の自動操舵装置の旋回運動を可能にする方法について、 図 3～図 5 を用いて詳細に説明する。

図 3 は、 本発明の自動操舵装置を搭載した船舶が、 旋回運動を開始するときの座標系を示した図である。

20 図 4 は、 図 3 で図示されている自船を拡大して表示した図である。

図 5 は、 本発明の自動操舵装置を搭載した船舶が旋回運動を開始したときの様子を示す図である。

本発明の自動操舵装置を搭載した船舶は、 自船位置を測位する手段、 例えば GPS 測位装置等の航法機器 22（図 2）を備えているので、 自船位置 $S(x, y)$ を測位することは可能であり、 また、 操作者が旋回中心 $O(x_o, y_o)$ および旋回半径を設定するので、 これらの値は既知の値となる。以上のことから、 自船位置と旋回中心の距離から旋回半径を引いた半径誤差 : R_{err} は、 容易に計算で求め

ることが可能である。

また、自船位置と旋回中心を結んだ直線が、旋回円と交わる点をPとし、点Pにおける旋回円上の接線を求め、旋回方向に応じて接線方位：Co_Pを求める。

接線方位Co_Pが求まったあとに半径誤差：R_errに可変係数を掛け合わせることで設定方位Co_setを求める。すなわち、R_errがプラス（旋回半径よりも外側）の場合に、

$$Co_{set} = Co_P + k_p \cdot R_{err} \quad (\text{右回り})$$

$$Co_{set} = Co_P - k_p \cdot R_{err} \quad (\text{左回り})$$

で与える。

10 但し、Co_Pは、

右回りの時、OP (→) + 90°

左回りの時、OP (→) - 90°

上記により得られた設定方位Co_setを、オートパイロットの制御針路とする。

なお、k_pは、後述するように、時々刻々と変化する半径誤差：R_errに連動して変化する可変係数である。このk_pは、半径誤差に係わる値である。この値は、必要とされる制御の強度によって、一定の周期毎に△k_pの加減算により調節される。以下に示す例では、半径誤差と方位ずれによって算出される評価値が前回調節時の評価値よりも良好であれば、そのときのk_pから一定値として2△k_pを減じ、悪化していれば、そのときのk_pに一定値として△k_pを加算する。この制御を連続的に行うことで、外乱に対して必要な強度の制御を逐次行うことができ、定点を中心とした真円に近い航跡を描く事が可能になる。

20 本発明では設定方位（舵角）のみを算出する。その後、オートパイロットにより保針時と同じPID制御を用いて舵の制御を行う。なお、PID制御とは自動制御方式の中でもっとも良く使われる制御方式であり、P:Proportional（比例）、I: Integral（積分）、D:Differential（微分）、の3つの組み合わせで制御するもので、木目細かな制御を実現でき、スムーズな制御が可能となる。

25 本発明の自動操舵装置には、従来の構成に加えてフィードバック機構分を有し、

所望の旋回円からのズレ量を定期的に演算し、その誤差を0に近づけるような制御を行う。

本発明の自動操舵装置の動作手順に関して、以下に述べる（図6参照）。

旋回を行う前に、航法装置により船速Vを求め、この船速Vが予め設定した速度
5 (本例では10 kt) より速い場合には、旋回運動を行うには速過ぎるという判断
から旋回動作には入らない。

船速Vが予め設定した速度よりも遅くなつてから、

- ・旋回中心位置（緯度・経度）
- ・旋回半径

10 　・旋回方向（右周り・左周り）

を操作者が指定し、それらは操作部にある記憶部に記憶される。これらの値は、予め設定しておくことも可能である。

また、操作者の入力と前後して、航法装置から自船位置、また方位センサから船首方位を得る。

15 上記操作者の指定により、自船位置Sから旋回中心Oまでの距離R_{now}と、上記交点Pから旋回中心Oまでの距離である旋回半径R_{circle}（操作者により設定）との距離差を、自船位置から交点Pまでの距離である半径誤差R_{err}として求める。

次に自船位置Sに対して、旋回中心Oから引いた直線と、旋回円との交点Pにおける、旋回円への接線を求める。なお、このとき、指定された旋回方向に応じて、
20 接線方向の方位C_o_Pは、上記のように、

右回りの時、O P (→) + 90°

左回りの時、O P (→) - 90°

となる。

これらの値から、設定方位C_o_setを、

25 C_o_set = C_o_P + k_p · R_{err} (右回り)

C_o_set = C_o_P - k_p · R_{err} (左回り)

で求め、

偏角DVを、設定方位Co_setと船首方位Hdとの差から求める。

その後、共通処理として行われるオートパイロットによる保針動作（PID制御）の入力として、また制御の評価として使う。つまり偏角が大きければ、目指している針路からのずれが多く、悪い制御である、という評価ができる、実際の制御では大きな舵をきることになる。

本実施形態では、偏角DVが一定以上の場合に、図6の「旋回処理」工程において、船舶の旋回処理を行う。同時に設定方位の再計算を行う。この処理を行ってから、オートパイロットの制御部に対する「設定方位出力」を行う。

偏角DVが一定以下の場合には、半径誤差R_errと図5のP位置を中心とした一定の+/-範囲内（本実施形態では-0.03nm（nautical mile）< R_err < 0.03nm）にあれば、「設定方位出力」を有効にし、その範囲を超えている時には、すぐには旋回運動には入らず、所望の旋回円より大きい軌道を回転しながら、徐々に予定した旋回円に近付くように回転する。

例えば、所望の旋回円まで何マイルも離れているのであれば、旋回円周上を旋回することより、まず旋回円に向かって直進し、近づくことが最優先となり、船首方位が逆の方向（右回りしたいのに左を向いている、中心を向いているなど）を向いている場合には、まず旋回円におおまかに沿うような方位を向ける必要がある。こういった動作を「制御範囲外処理」で行う。「制御範囲外処理」では、さらに、設定方位の再計算をも行う。

次に、半径誤差：R_errに可変係数を掛け合わせる可変係数：kpに関して詳しく説明する（図7参照）。このkpは、設定方位Co_setを求める時にR_errに掛けられ（上式を参照）、前述のように、時々刻々と変化するR_errに連動して変化する可変係数である。このkpは、必要とされる制御の強度によって、一定の周期毎にΔkpの加減算により調節される。

すなわち、半径誤差R_errに掛かる比例係数kpは、偏角と半径誤差から求まる評価値evalと評価値の前回値eval_lastによって調節する。

その調節手順は以下の通りである。

(S 0) 評価値の初期値を数式 (1) により計算する。

$$\text{eval} = \text{R_err}^2 + 0.1 * \text{dv_g}^2 \quad \text{-- (1)}$$

ここで R_err は半径誤差、 dv_g は偏角であり、その前の 0.1 は実験により求めた係数で、この値に限定されることはない。

5 (S 1) フラグを確認する。

・ フラグが立ってない場合、

(S 2) 調節量 Δk_p を数式 (2) により計算する。

$$\Delta k_p = \text{co_eval} * \text{d_eval} \quad \text{-- (2)}$$

ただし、評価値差分 d_eval は数式 (3) で与えられ、

10
$$\text{d_eval} = \text{eval} - \text{lim_eval} \quad \text{-- (3)}$$

lim_eval 、 co_eval は各々、評価値の不感帯、 Δk_p 算出用の係数、を意味する。

(S 3) k_p に調節量 Δk_p を加算する。

(S 4) フラグを立てる。

15 (S 5) 一定時間（円周の大きさと船速によって決まる）経た後、S 0 で得られた評価値、 eval と前回の評価値である eval_last の値を比較する。

(S 6) 比較した結果、

(ア) $\text{eval} > \text{eval_last}$ (図 7 S 5 の No 側) のときは、評価が悪くなっているということで、(S 3) の処理が悪影響を与えることになるので 20 反対の動作、つまり $\Delta k_p \times 2$ を k_p より減ずる。すると (S 3) の加算前の k_p に比べて、 Δk_p 小さい値になる。

(イ) $\text{eval} < \text{eval_last}$ (図 6 S 5 の Yes 側) のときは、評価が良くなっているということで、(S 3) の処理がよい結果を出したと言える。そこで、さらに Δk_p を加算する。すると、(S 3) の加算前の k_p に比べて、 $2 \times \Delta k_p$ 大きい値になる。

(S 7) フラグを降ろす。

(S 8) eval_last の値を書き換える。

図7に示す上記制御ループを繰り返すことによって、強い制御がいるところでは(S 6) (ア)の処理によって評価が上がる傾向が出るため、 k_p が大きくなり、弱い制御でいいところでは(S 6) (イ)の処理によって評価が悪化(過剰制御)するため k_p が小さくなり、これにより k_p が徐々に調節されることになる。また、
5 Δk_p の値は $\Delta eval$ の値によって負から正の値まで上下する。

$\Delta eval$ の値が大きくなると評価値が大きく変動していることから、 Δk_p の値を大きくし調節スピードを上げる。

逆に、 $\Delta eval$ の値が小さければ、調節によって評価があまり変わっていないことから、無駄な調節をなくすため Δk_p の値を小さくして、 k_p の値が変動する
10 のを防ぐことが可能になる。

なお、図7に示すように、このループは左右交互に繰り返される。

そして本アルゴリズムでは船首方位のみ算出・制御して、速度その他は制御しない。その後保針時と同じPID制御を用いて舵の制御を行う。

図8～図10に、本発明を用いたシミュレーション結果を記す。

15 「R=0.2」とは旋回半径0.2nmの意味であり、「Ship's LL」とあるのは、開始時の自船の位置を旋回円の中心にして回るモードを実施した(他に離れたところからカーソルで中央を指定したり、ルートを組んで最終点を中心にしていうモードがある)という意味である。また外因として、一定方向に1.5
 k_t の潮流を受けている状態である。

20 図9では、0を中心半径誤差がプラスマイナスに振れていることが分かる。

また、図10では、潮流という外因があるにも関わらず、旋回運動の中心位置が動いていないことが分かる。

船首方位が指定した旋回方向と逆を向いていることもあり得るが、接線方位と自船の船首方位が大きく(例えば40°)外れている場合は、まず接線方位を設定方位として変針(右・左近い方に旋回)し、接線と船首方位の偏角が小さくなつてから、半径を修正する制御に移るようにする。

なお、上記は、操作者が旋回中心位置、旋回半径、旋回方向の全てを指定する例

を説明したが、本発明は上記実施例に制限されることはない。

例えば、自船位置から旋回中心までの距離が旋回半径に略等しくなるまで舵角を調節し、次いで、そのときから、旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節するようにしても良い。

- 5 また、操作者が旋回中心位置と旋回半径のみを指定し、旋回方向を指定しなくても、自動的に船首方位に近い方向に旋回するようにしてもいいし、操作者が旋回中心位置のみ指定すると、同旋回中心位置から自船位置までの距離を自動的に旋回半径と認識し、その場から自船の進行方向の向きに、そのまま旋回運動を行うように制御することも可能である。
- 10 従来の自動操舵装置は目的方位に向かって直線的に進むだけだったのが、本発明によれば、目的地（指定した旋回中心位置）の回りを、指定した旋回半径で正確に旋回できることになる。この機能によって、自動操舵装置の用途が大きく広がることになる。例えば、
 - 15 • 探索（旋回半径を変更することによって、正確にポイントの周囲を魚探等で探索が可能）
 - 救助（正確に旋回する事により、救助対象にぶつからずに周囲で救助活動に当たられる。）
 - 待機（定点保持ではエンジンの調節、舵の操作などを組み合わせて複雑な操作になるが、低速旋回であれば操作が不要になる。）
- 20 • その他旋回中心を移動させることにより、測深機との組み合わせて海底地形図の作成や資源探査にも利用可能になる。

など挙げができる。

産業上の利用可能性

- 25 本発明は、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する船舶の自動操舵装置に関し、特に所望の旋回中心位置の周りを、所望の旋回半径で旋回することを可能にする自動操舵装置に利用可能である。

請求の範囲

1. 自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵制御装置において、

所望の旋回中心位置を入力する入力手段と、

5 前記入力手段で入力した旋回中心位置を記憶する記憶手段と、

自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離を旋回半径とし、その旋回中心に対して自船軌跡が前記旋回半径による円弧を描くように命令舵角を出力する舵角出力手段と、

を備えたことを特徴とする自動操舵制御装置。

10

2. 自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、

所望の旋回中心位置を入力する入力手段と、

前記入力手段で入力した旋回中心位置を記憶する記憶手段と、

15

自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離を旋回半径とし、その旋回中心に対して自船軌跡が前記旋回半径による円弧を描くように舵角を調節する舵角調節手段と、

を備えたことを特徴とする自動操舵装置。

20

3. 自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、

所望の旋回半径および旋回中心位置を入力する入力手段と、

前記入力手段で入力された旋回半径および旋回中心位置を記憶する記憶手段と、

25

自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離が前記記憶手段に記憶した旋回半径に近付けるように命令舵角を出力する舵角出力手段と、

を備え、

前記舵角出力手段は、前記自船位置から前記旋回中心までの距離が前記旋回半径に略等しくなったときから、その旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節するよう命令舵角を出力することを特徴とする自動操舵制御装置。

5

4. 自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、

所望の旋回半径および旋回中心位置を入力する入力手段と、

前記入力手段で入力された旋回半径および旋回中心位置を記憶する記憶手段と、

10 自船位置を測位する手段で測位された自船位置から前記記憶手段に記憶した旋回中心までの距離が前記記憶手段に記憶した旋回半径に近付けるように舵角を調節する舵角調節手段と、

を備え、

15 前記舵角調節手段は、前記自船位置から前記旋回中心までの距離が前記旋回半径に略等しくなったときから、その旋回中心に対して自船軌跡が前記回転半径による円弧を描くように舵角を調節することを特徴とする自動操舵装置。

20 5. 前記入力手段は、所望の旋回方向を入力することが可能であり、前記記憶手段は、前記入力手段で入力された旋回方向を記憶し、前記舵角調節手段は、前記記憶手段に記憶された旋回方向に旋回するように舵角を調節することを特徴とする請求項 2 記載の自動操舵装置。

25 6. 前記記憶手段に記憶された旋回方向、旋回半径および旋回中心位置を各々独立に変更する割込制御手段を備えた請求項 3 記載の自動操舵装置。

25

7. 自船位置を測位する手段を備えた船舶に装備され、参照針路に対する船首方位の偏差に基づいて命令舵角を出力する自動操舵装置において、

所望の旋回方向、旋回半径および旋回中心位置を入力する入力手段と、
前記入力手段で入力された旋回方向、旋回半径および旋回中心位置を記憶する
記憶手段と、

自船位置を測位する手段で測位された自船位置と前記旋回中心位置を記憶する
5 手段に記憶した旋回中心とを結ぶ直線を求め、前記直線と、前記記憶手段に記憶した
旋回半径で前記記憶手段に記憶した旋回中心を中心として描いた旋回円との交点
を求める、前記交点における前記旋回円への接線を求め、自船位置と前記交点間の距
離差を演算し、自船の針路方向が、前記接線の、前記記憶手段で記憶した旋回方向
に近づくよう、前記距離差に応じて舵角を調節する舵角調節手段と、
10 を備えたことを特徴とする自動操舵装置。

図 1

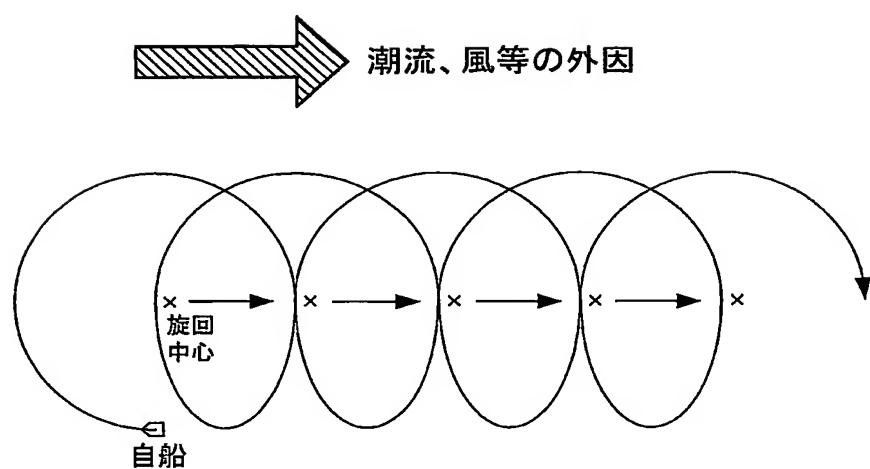


図2

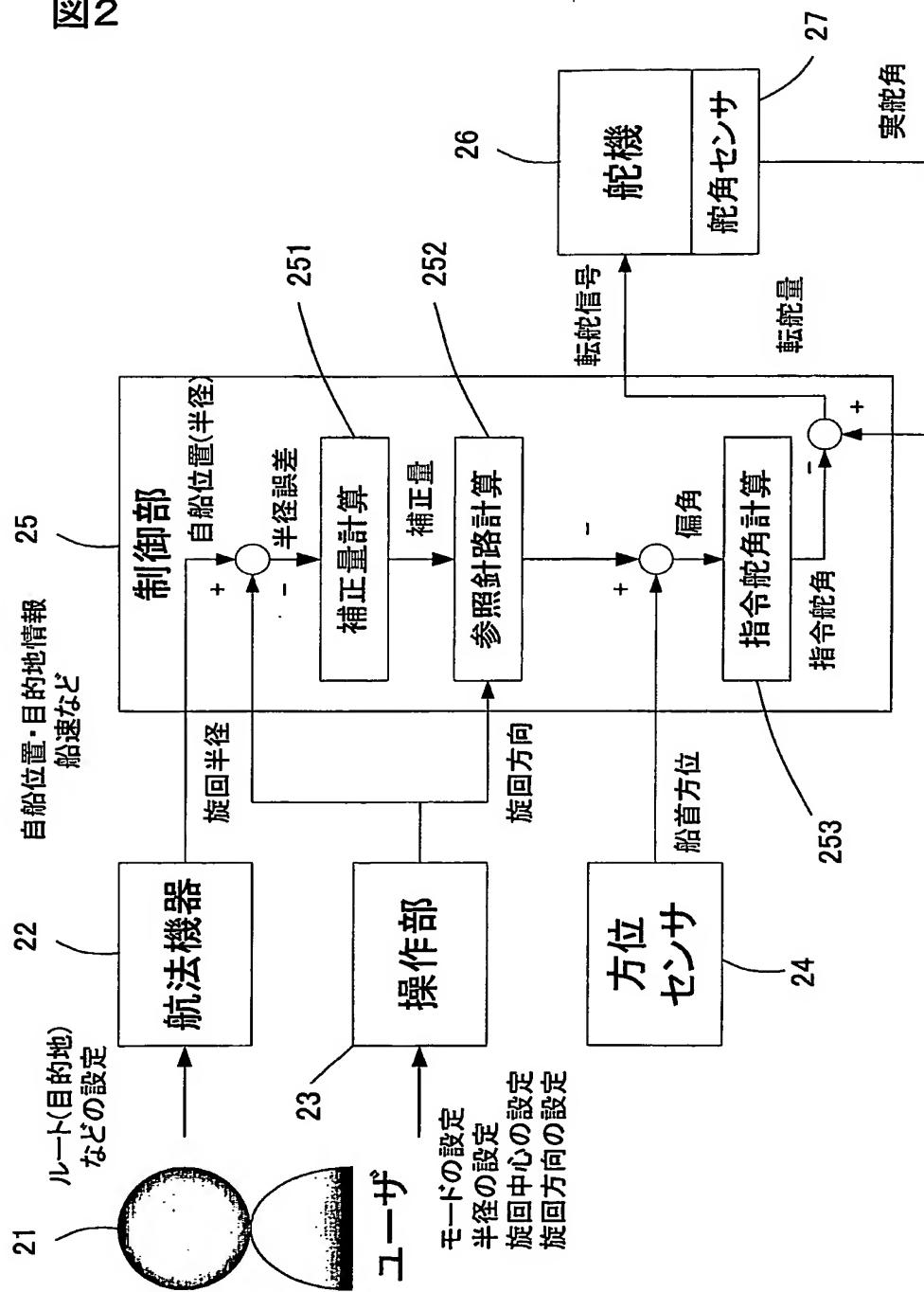


図3

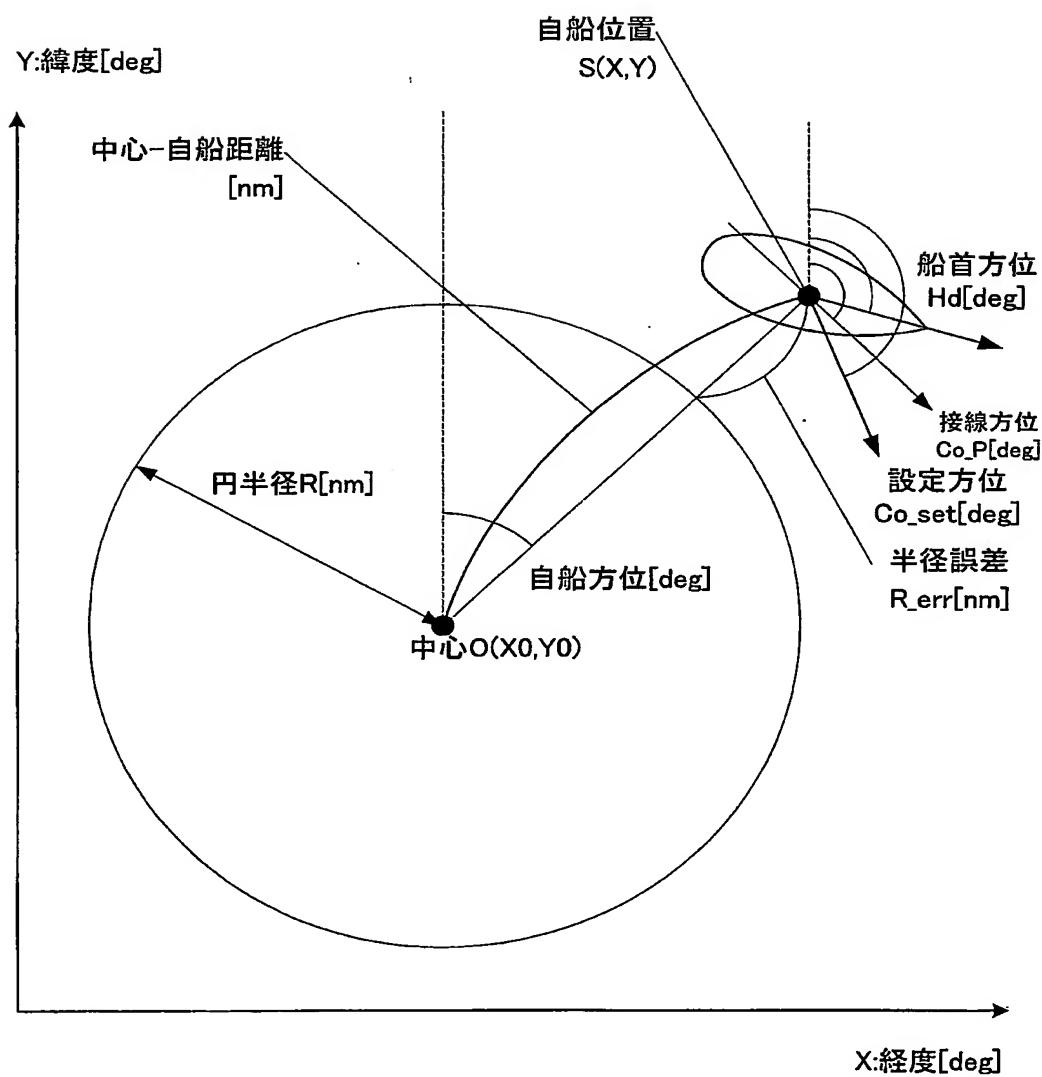


図4

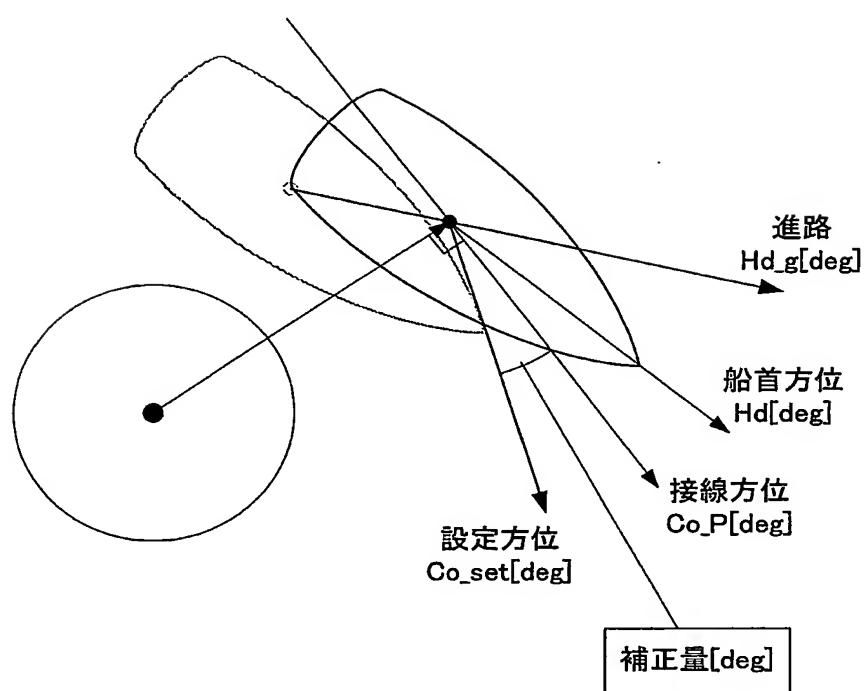
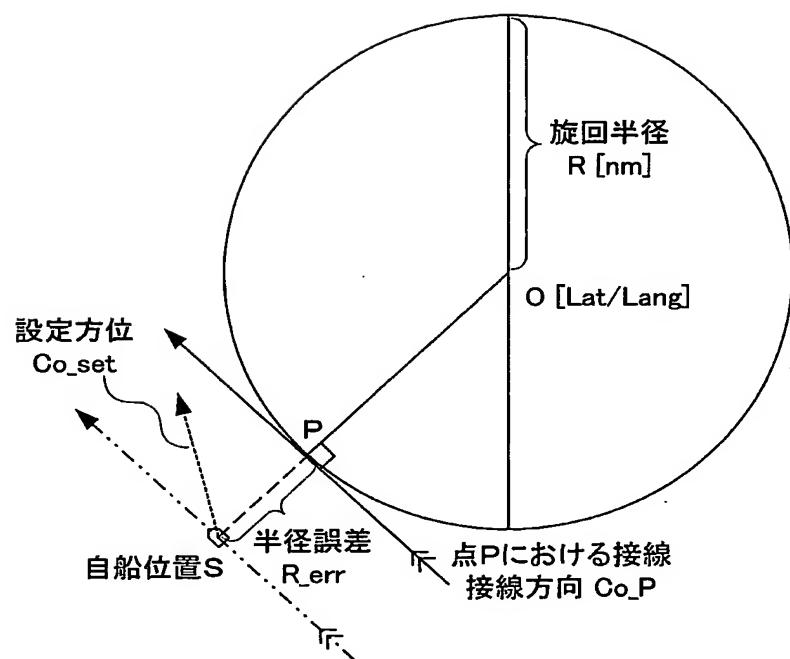


図5



6

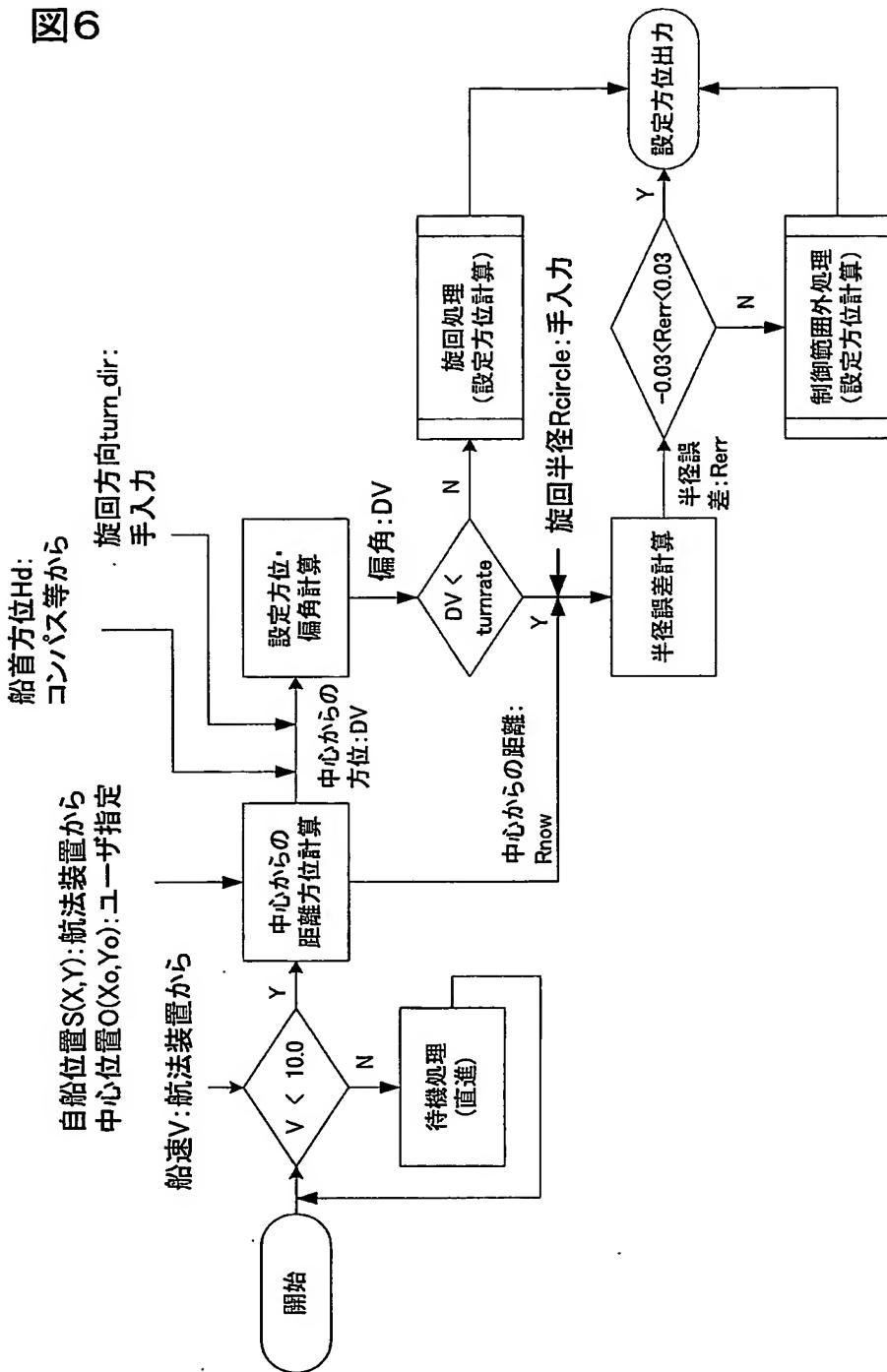
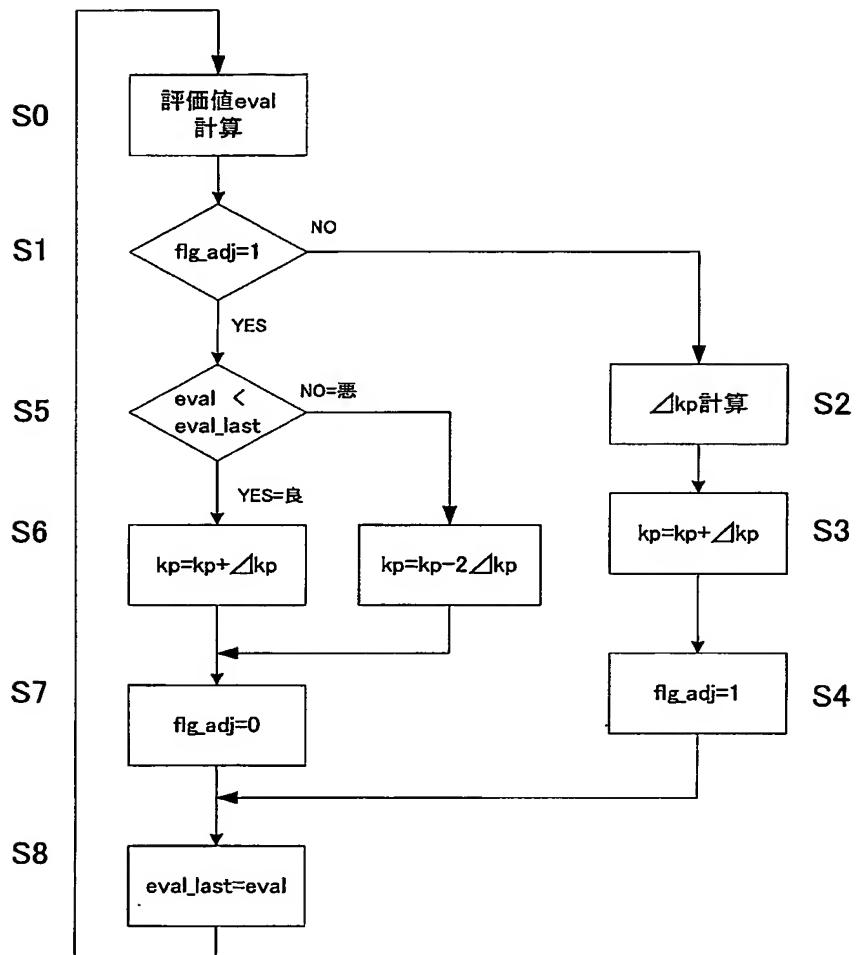


図7



[R=0.2, Ship's LL, Current 1.5kt]

图8

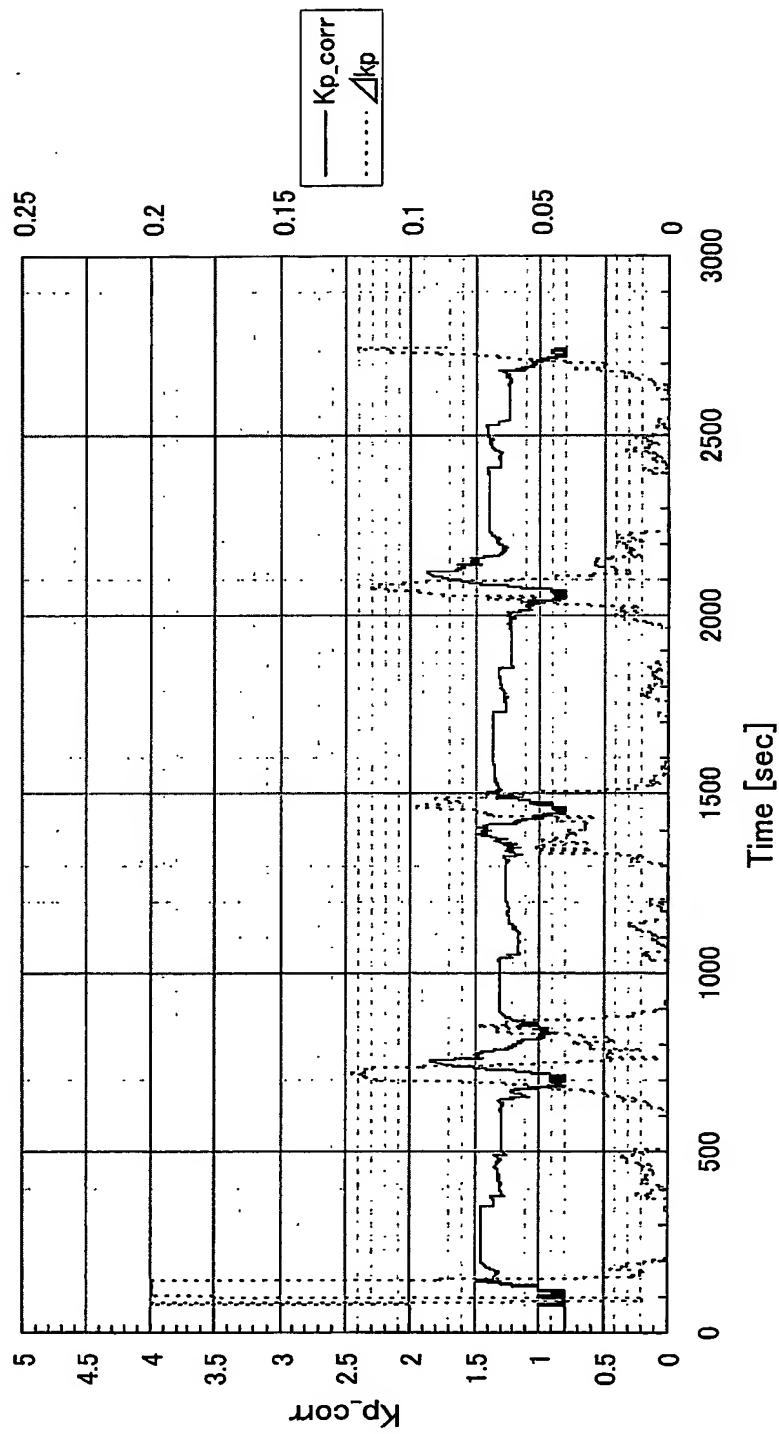


図9

【R=0.2, Ship's LL, Current1.5kt】

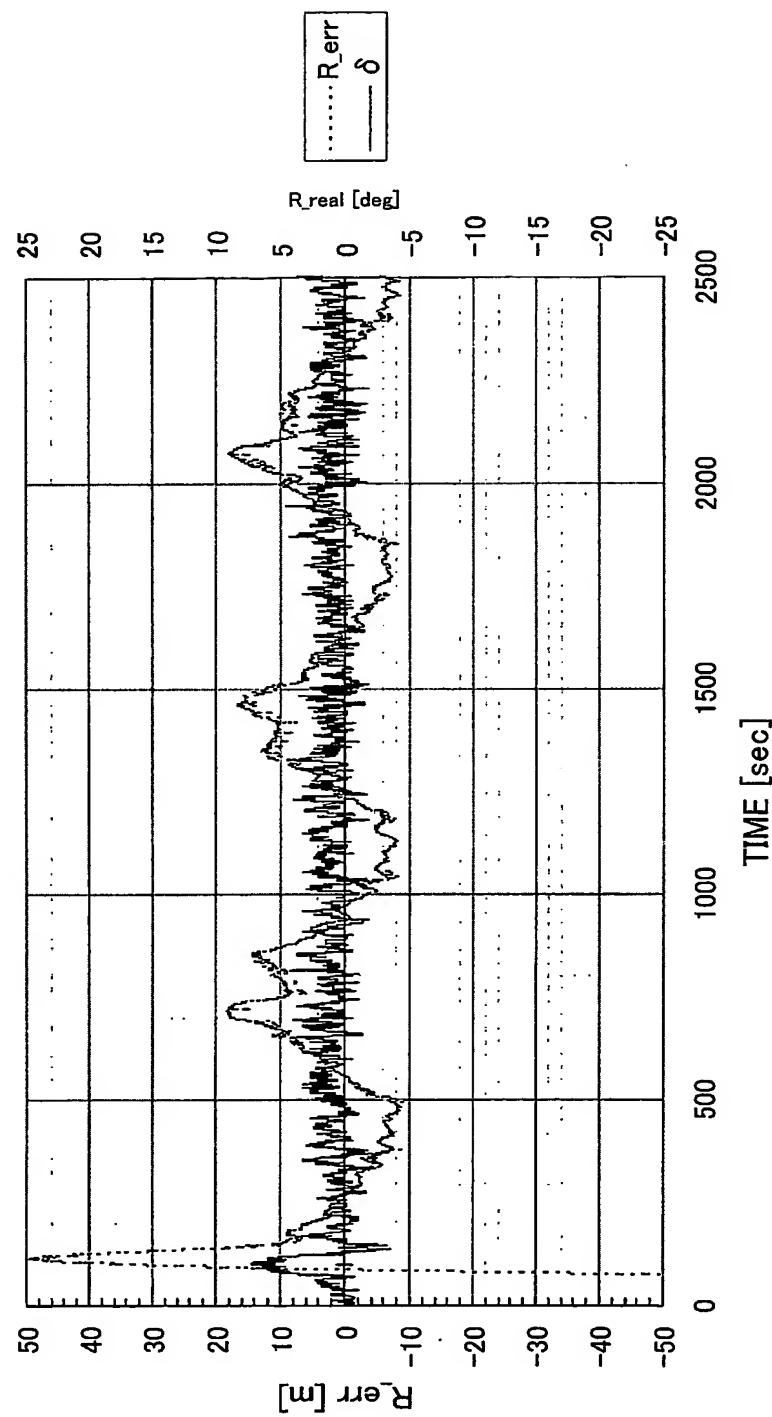


図10

【REGULATOR R=0.2 Ship's LL Current1.5kt】

